

ДИТИНЕНКО С.А., НОВИКОВ Г.В., МАШКО А.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ВОЗНИКАЮЩИХ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ УПРУГИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ТОЧНОСТЬЮ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований связи упругих перемещений в технологической системе с точностью и производительностью обработки*

Задачи повышения точности и производительности обработки при шлифовании имеют большое практическое значение. Им посвящены многочисленные работы [1, 2]. Важным направлением решения является снижение отрицательной роли упругих перемещений, возникающих в технологической системе, в формировании параметров точности обработки [3]. Поэтому целью работы является проведение теоретических и экспериментальных исследований по установлению связи упругих перемещений, возникающих в технологической системе, с точностью и производительностью обработки.

Для решения поставленных задач воспользуемся теоретическим подходом [4, 5] к определению величины упругого перемещения  $y$ , возникающего в технологической системе, применительно к процессу круглого наружного врезного шлифования:

$$y = y_{уст} \cdot (1 - e^{-\bar{\beta} \cdot \tau}), \quad (1)$$

где  $y_{уст} = \frac{\sigma \cdot Q_0}{V_{кр} \cdot K_{ш} \cdot c}$ ;  $\bar{\beta} = \frac{V_{кр} \cdot K_{ш} \cdot c}{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot \sigma}$ ;  $Q_0 = \pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot V_{рад}$  – номинальная производительность обработки, м<sup>3</sup>/с;  $V_{кр}$  – скорость круга, м/с;  $K_{ш} = P_z / P_y$  – коэффициент шлифования;  $P_z, P_y$  – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;  $D_{дет}, l_{дет}$  – соответственно диаметр и длина обрабатываемой детали, м;  $V_{рад}$  – скорость радиальной подачи, м/с;  $\tau$  – время обработки, с.

Параметр  $y_{уст}$  после преобразования принимает вид:

$$y_{уст} = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot \sigma \cdot V_{рад}}{V_{кр} \cdot K_{ш} \cdot c}. \quad (2)$$

Нетрудно видеть, что  $y_{уст} = V_{рад} / \bar{\beta} = V_{рад} \cdot B$ , где  $B = 1 / \bar{\beta}$ . С физической точки зрения параметр  $B$  определяет время, за которое шлифовальный круг переместится в радиальном направлении на величину  $y_{уст}$ , т.е. параметр  $B$  –

это постоянная времени формирования упругого перемещения в технологической системе. Тогда

$$y_{уст} = B \cdot V_{pad}, \quad (3)$$

$$B = \frac{1}{\beta} = \frac{\pi \cdot D_{dem} \cdot l_{dem} \cdot \sigma}{V_{кр} \cdot K_{и} \cdot c}. \quad (4)$$

Постоянная времени  $B$  обратно пропорциональна параметру  $\bar{\beta}$ . Она тем меньше, чем меньше площадь обработки  $F = \pi \cdot D_{dem} \cdot l_{dem}$ , отношение  $\sigma / K_{и}$  (определяющее силовую напряженность процесса обработки) и чем больше скорость круга  $V_{кр}$  и приведенная жесткость технологической системы  $c$ . Постоянную времени  $B$  можно рассматривать одной из основных характеристик технологической системы, поскольку она определяет длительность переходного процесса обработки, связанного с формированием в технологической системе упругого перемещения величиной  $y_{уст}$ .

Зависимость (1) с учетом зависимости (4) опишется:

$$y = y_{уст} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{B}} \right). \quad (5)$$

Обозначая  $n = \tau / B$ , имеем

$$\frac{y}{y_{уст}} = 1 - e^{-n}. \quad (6)$$

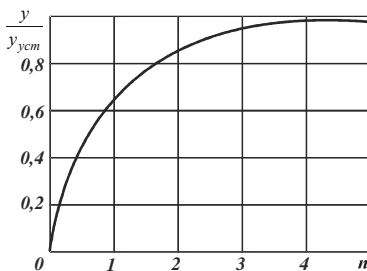


Рис. 1. Зависимость отношения  $y / y_{уст}$  от величины  $n$ .

Характер изменения рассчитанных по зависимости (6) значений  $y / y_{уст}$  показан на рис. 1. Как видно, с увеличением  $n$  отношение  $y / y_{уст}$  непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. При  $n=3$  отличие значений  $y$  и  $y_{уст}$  составляет 5%. Поэтому при  $n \geq 3$  с достаточной для практики точностью расчеты величины  $y$  можно вести по упрощенной зависимости:

$$y \approx y_{уст}. \quad (7)$$

Для практического использования зависимостей (5) и (6) необходимо знать значения параметра  $B$  и соответственно величины  $y_{уст}$ , связанной с параметром  $B$  зависимостью (3). Определить  $B$  можно на основе зависимости (4), однако это требует проведения сложных экспериментальных исследований по установлению значений условного напряжения резания  $\sigma$ , коэффициента шлифования  $K_{ш}$  и жесткости технологической системы  $c$ . Более просто установить параметр  $B$  можно расчетно-экспериментальным путем, используя зависимость (5), и экспериментальные данные величин  $y$  и  $\tau$ . Для этого необходимо зависимость (5) представить в виде:

$$y = B \cdot V_{рад} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{B}} \right), \quad (8)$$

где  $V_{рад} = \Pi / \tau$ ;  $\Pi$  – номинальная величина снимаемого припуска, м.

После преобразований зависимость (8) окончательно запишется:

$$y = \Pi \cdot \frac{B}{\tau} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{B}} \right) = \frac{\Pi}{n} \cdot (1 - e^{-n}). \quad (9)$$

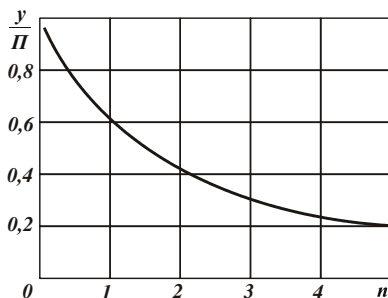


Рис. 2. Зависимость отношения  $y/\Pi$  от величины  $n$ .

На рис. 2 приведены рассчитанные по зависимости (9) значения  $y/\Pi$ . Как видно, с увеличением величины  $n$  (т.е. с увеличением времени обработки  $\tau$  и соответственно уменьшением  $V_{рад}$  при условии  $\Pi = const$ ) величина упругого перемещения  $y$  уменьшается. Методика определения входящей в зависимость (9) неизвестной величины  $n$  состоит в следующем. Экспериментально устанавливаются значения  $y$ ,  $\tau$  и  $\Pi$ . По известному отношению  $y/\Pi$ , используя рис. 1, определяется искомое значение  $n$ . Затем, по зависимости  $B = \tau/n$  определяется значение  $B$ . Зная скорость радиальной подачи  $V_{рад} = \Pi / \tau$ , определяется величина  $y_{уст} = B \cdot V_{рад}$ .

Для проведения экспериментов была изготовлена специальная цилиндрическая оправка из стали 45, на которой механическим путем крепились 4 пластины из твердого сплава ВК8. Оправка устанавливалась в центрах круг-

лошлифовального станка и при шлифовании совершала вращательное движение, а шлифовальный круг – врезную (радиальную) подачу. В результате обеспечивалось круглое наружное врезное шлифование твердосплавных пластин. Скорость круга устанавливалась равной  $V_{кр}=30$  м/с, а скорость вращения детали –  $V_{дет}=30$  м/мин. В качестве шлифовального круга использовался алмазный круг на металлической связке 1А1 300х20х5 АС6 125/100 М1-01 4. После установки алмазного круга на станок производилась его электроэрозионная правка. Это позволило устранить биение круга, обеспечить высокую развитость его режущего рельефа и соответственно высокую режущую способность.

При проведении экспериментов принималась постоянной номинальная величина снимаемого припуска  $\Pi=0,5$  мм независимо от скорости радиальной подачи  $V_{рад}$ . В ходе экспериментов измерялось время обработки  $\tau$  и определялась величина упругого перемещения  $y$  по формуле:

$$y = \Pi - \frac{D_{дет_1} - D_{дет_2}}{2}, \quad (10)$$

где  $D_{дет_1}, D_{дет_2}$  – соответственно диаметры детали до и после обработки,

м.

В табл. 1 приведены экспериментальные значения параметров  $\tau$ ,  $y$  и  $y/\Pi$ , полученные при шлифовании с разными скоростями радиальной подачи  $V_{рад}$ . На основе этих данных по соответствующим зависимостям, приведенным выше, определены значения параметров  $n$ ,  $B$  и  $y_{уст}$  (табл. 2), что позволило количественно оценить роль упругих перемещений в процессе съема припуска при шлифовании. Как видно, значения  $y_{уст}$  несколько больше значений  $y$ . Это хорошо согласуется с теоретическими результатами и свидетельствует о том, что при  $n \rightarrow 3$  значения  $y_{уст}$  и  $y$  отличаются несущественно.

Таблица 1 – Экспериментальные значения параметров  $\tau$ ,  $V_{рад}$ ,  $y$  и  $y/\Pi$

№ п/п	$\tau$ , с	$V_{рад}$ , мм/с	$y$ , мм	$y/\Pi$
1	50	0,01	0,17	0,34
2	45	0,011	0,2	0,4

Таблица 2 – Расчетные значения параметров  $n$ ,  $B$  и  $y_{уст}$

№ п/п	$n$	$B$ , с	$y_{уст}$ , мм
1	2,9	17,24	0,172
2	2,25	20,0	0,22

Определим условия повышения производительности обработки с учетом ограничения по точности размера обработанной детали. Согласно полученному теоретическому решению [4], повысить производительность обработки

можно за счет создания в технологической системе начального натяга  $y_0$ , равного или превышающего значение  $y_{уст}$ . Этим исключается переходной процесс, в течении которого фактическая производительность обработки  $Q$  и величина упругого перемещения  $y$  меньше номинальных значений  $Q_0$  и  $y_{уст}$ . Выше предложена, по сути, экспресс-методика расчетно-экспериментального определения величины  $y_{уст}$ , что позволяет в каждом конкретном случае правильно устанавливать величину  $y_{уст}$ , повышая тем самым производительность обработки.

Необходимо отметить, что условие  $y_0 = y_{уст}$  является необходимым, но недостаточным условием повышения производительности при финишной обработке. Достаточным может быть условие обеспечения максимально возможной производительности с учетом ограничения по точности обработки. В работе [4] теоретически обоснована оптимальная по структуре операция шлифования, обеспечивающая максимально возможную производительность для заданной точности обработки, включающую лишь переход выхаживания. Однако для ее выполнения необходимо использовать инструменты с высокой режущей способностью, например, алмазные круги на металлической связке после их эффективной электроэрозионной правки (с развитым режущим рельефом). Применение алмазных кругов с относительно низкой режущей способностью требует осуществления операции шлифования в два перехода: черновое шлифование и последующее выхаживание.

Существенным ограничением осуществления установленной оптимальной по структуре операции шлифования являются также увеличенные припуски на обработку. В этом случае операцию шлифования также приходится выполнять в два перехода: черновое шлифование и выхаживание. Иными словами, оптимальная по структуре операция шлифования может быть осуществлена при сьеме относительно небольших припусков.

Список литературы: 1. Лурье Г.Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1984. – 103 с. 2. Кашук В.А., Верещагин А.Б. Справочник шлифовщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с. 3. Новиков Ф.В., Ковальчук А.Н. Оптимизация структуры процесса съема припуска при механической обработке // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2005. – № 37. – С. 169-176. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.7. "Точность обработки деталей машин" – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.

*Поступила в редколлегию 21.04.08*